

STEPPE EAGLE POPULATION STRUCTURE GENETIC STUDY: IS THERE HOPE FOR THE ENDANGERED SPECIES?

Zinevich L.S. (All-Russian Research Institute for Environmental Protection, Moscow, Russia)

Schepetov D.M., Tambovtseva V.G. (Koltzov Institute of Developmental Biology Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia)

Bekmansurov R.H. (Kazan Federal University, Elabuga Institute, National Park "Nizhnyaya Kama", Elabuga, Russia)

Pulikova G.I. (Biodiversity Research and Conservation Center Community Trust, Astana, Kazakhstan)

Nikolenko E.G., Karyakin IV (Russian Raptor Research and Conservation Network; Sibecocenter LLC, Novosibirsk, Russia)

Contact:

Ludmila Zinevich
lzinevich@gmail.com

Dmitry Schepetov
denlior@gmail.com

Valentina Tambovtseva
lynx1994@gmail.com

Rinur Bekmansurov
rinur@yandex.ru

Genriyetta Pulikova
genriyetta.pulikova@gmail.com

Elvira Nikolenko
elviranikolenko@gmail.com

Igor Karyakin
ikar_research@mail.ru

Recommended citation: Zinevich L.S., Schepetov D.M., Tambovtseva V.G., Bekmansurov R.H., Pulikova G.I., Nikolenko E.G., Karyakin I.V. Steppe Eagle Population Structure Genetic Study: is There Hope for the Endangered Species? – Raptors Conservation. 2023. S2: 342–346. DOI: 10.19074/1814-8654-2023-2-342-346 URL: <http://rrrcn.ru/en/archives/35132>

For centuries, Steppe Eagle (*Aquila nipalensis*) had been the most numerous Palearctic *Aquila* species, but nowadays it has been decreasing in numbers progressively, so in 2015 the IUCN changed the species status to “endangered”. The decrease is evidently related to Steppe Eagles’ electrocution at nesting areas and during migration, poisoning by veterinarian drugs when feeding on agricultural animal carcasses at wintering grounds, steppe fires and total habitat loss combined with loss of prey like susliks. To the contrary, the sister *Aquila* species, the Imperial Eagle (*Aquila heliaca*), which exhibits similar biological traits and lives sympatrically to the Steppe Eagle at some parts of areas, shows local increase in numbers and even substitutes the decreasing Steppe Eagle in steppe biomes. In the 1960s, many Palearctic birds of prey came through population decline due to so-called “DDT crisis” – massive pesticide poisoning. To restore the species numbers, specific conservation actions were initiated in Europe to support population numbers and genetic diversity of raptors. Regarding the Steppe Eagle with its nesting area located mostly at Kazakhstan, Russian, Mongolian and Chinese territories, the implications of DDT and electrocution impacts on the population numbers stayed poorly investigated.

Meanwhile, loss of genetic stability can be a reason for lasting population decline. Genetic threats like population fragmentation, genetic erosion, and inbreeding depression are believed more prolonged in comparison to anthropogenic impacts and

more rarely come under increasing scrutiny of conservation practitioners. However, if exist, they can lead to species extinction regardless of removal of all other threats.

The Steppe Eagle population structure stays poorly investigated. In 2018, during the 1st Steppe Eagle conservation international workshop, this problem was highlighted with recommendations for filling this gap. Our presented study was conducted following this recommendation and focused on genetic structure, fragmentation, and effective number comparison of the Steppe Eagle population at the major part of its nesting areas (about 250 individual samples) and sympatric populations of the Imperial Eagle (over 100 samples). For conservation criteria estimation, we used widespread genetic markers like nuclear microsatellites (9 loci) and mitochondrial control region (D-loop). Also we performed molecular individual tagging and parentage analysis to study the population structure using samples from the numerous Western Kazakhstan population. We also used GIS methods to study geographic fragmentation of populations.

The genetic analysis showed that the Steppe Eagle population structure is highly similar to that of the Imperial Eagle but with less genetic diversity and has traces of repeated survival of “population bottlenecks” with huge decline in the number and genetic diversity. Fragmentation analysis showed no genetic isolation of geographically fragmented nesting groups despite the presumed natal philopatry in

accordance with our Steppe Eagle parentage data. Preliminary estimation of the Steppe Eagle population effective numbers by linkage disequilibrium method showed rather high values inspite of the lasting population decline. The molecular coancestry estimation showed more serious decline during the latest bottleneck which was also far below the ancestral Imperial Eagle population at the studied areas. The inbreeding rate for the Steppe Eagle population at the most part of the species areas turned out to outnumber one for the local population of the Imperial Eagle.

Our data showed no immediate genetic threats for the Steppe Eagle population restoration and also demonstrated traces of multiple bottlenecks in the species evolution. Still the genetic structure of the species population keeps some traits of modern decline and should be monitored permanently according to the species numbers. Unique population structure patterns of the Steppe Eagle between other *Aquilinae* species and their conservation aspects are directions for future *Aquila nipalensis* genetic research.

ПОПУЛЯЦИОННО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА СТЕПНОГО ОРЛА: ЕСТЬ ЛИ НАДЕЖДА НА СОХРАНЕНИЕ ВИДА?

Зиневич Л.С. (ФГБУ «ВНИИ Экология», Москва, Россия)

Щепетов Д.М., Тамбовцева В.Г. (ИБР им. Н.К. Кольцова РАН, Москва, Россия)

Бекмансуров Р.Х. (Казанский федеральный университет, Елабужский институт; ФГБУ Национальный парк «Нижняя Кама», Елабуга, Россия)

Пуликова Г.И. (ОФ «Центр изучения и сохранения биоразнообразия», Астана, Казахстан)

Николенко Э.Г., Карякин И.В. (Российская сеть изучения и охраны пернатых хищников; ООО «Сибэкоцентр», Новосибирск, Россия)

Контакт:

Людмила Зиневич
lzinevich@gmail.com

Дмитрий Щепетов
denlior@gmail.com

Валентина Тамбовцева
lunx1994@gmail.com

Ринур Бекмансуров
rinur@yandex.ru

Генриетта Пуликова
genriyetta.pulikova@gmail.com

Эльвира Николенко
elviranikolenko@gmail.com

Игорь Карякин
ikar_research@mail.ru

Рекомендуемая цитата: Зиневич Л.С., Щепетов Д.М., Тамбовцева В.Г., Бекмансуров Р.Х., Пуликова Г.И., Николенко Э.Г., Карякин И.В. Популяционно-генетическая структура степного орла: есть ли надежда на сохранение вида? – Пернатые хищники и их охрана. 2023. Спецвып. 2. С. 342–346. DOI: 10.19074/1814-8654-2023-2-342-346 URL: <http://rrcn.ru/ru/archives/35132>

Степной орел (*Aquila nipalensis*) на протяжении веков был самым многочисленным видом настоящих орлов Палеарктики, однако в настоящее время его численность неуклонно снижается, и в 2015 году статус вида в Красном листе МСОП был повышен до «угрожаемого». Явными причинами снижения численности являются массовая гибель степных орлов на линиях электропередач на гнездовании и во время миграции, массовые отравления ветеринарными препаратами при питании тушами сельскохозяйственных животных на зимовках, степные пожары и общее сокращение гнездопригодных местообитаний, а также кормовой базы, в первую очередь, суслика. Однако при этом близкородственный степному орлу, сходный по биологическим характеристикам и во многих

районах обитающий симпатрично с ним орел могильник (*Aquila heliaca*) зачастую увеличивает свою численность и активно занимает экологическую нишу исчезающего степного орла. В 60е годы XX века численность многих видов хищных птиц на территории Палеарктики существенно сократилась из-за т.н. ДДТ-кризиса – отравления пестицидами (дихлордифенил трихлорметилметаном). Для восстановления численности многих видов хищных птиц в европейских странах пришлось проводить специальные мероприятия, направленные на её восстановление и поддержание генетического разнообразия популяций. Что касается степного орла, основной гнездовой ареал которого лежит в пределах Республики Казахстан, России, Монголии и Китая, последствия ДДТ-кризиса, как и роль

линий электропередач в сокращении численности вида, для него остались практически неисследованными.

Между тем, одной из причин продолжающегося сокращения численности вида может быть нарушение генетической стабильности популяции. Генетические угрозы, такие, как фрагментация ареала, генетическая эрозия популяций, инбредная депрессия и т.д. считаются более пролонгированными и реже привлекают внимание исследователей по сравнению с угрозами, связанными с деятельностью человека, тем не менее, могут привести к вымиранию вида, несмотря на предпринимаемые меры по устранению иных угроз.

Популяционно-генетическая структура степного орла исследована крайне мало. В 2018 году в рамках I Международного совещания рабочей группы по сохранению степного орла эта проблема была поднята и рекомендована к скорейшему разрешению. Данная работа проводилась в рамках выполнения этой рекомендации. Задачей исследования был сравнительный анализ генетической структуры, подразделённости и эффективной численности популяции степного орла на большей части ареала вида (более 250 образцов) и орла-могильника на отдельных территориях России и Республики Казахстан (более 100 образцов). Для исследования были использованы классические генетические маркеры – контрольный регион митохондриального генома (D-петля) и девять ядерных микросателлитных локусов. Также были проведены индивидуальная идентификация особей и выявление родственных связей в наиболее представительной по численно-

сти западноказахстанской группировке степного орла. Все исследованные образцы были проанализированы как с точки зрения генетической, так и географической подразделённости с помощью ГИС-методов.

В результате было показано, что популяционно-генетическая структура степного орла, в целом сходная со структурой орла-могильника, несёт следы неоднократного прохождения видом «бутылочных горлышек», т.е. периодов существенного снижения численности и генетического разнообразия. При этом на исследуемых территориях у степного орла не выявлено генетически изолированных группировок, несмотря на вероятное существование по результатам определения родства между степными орлами в одной группировке натальной филопатрии, ранее описанной для орлов-могильников. Предварительные результаты оценки эффективной численности популяции методом неравновесия по сцеплению показывают, что эффективная численность степного орла остаётся довольно высокой, несмотря на наблюдающееся снижение численности популяции, однако при этом оценка эффективной численности предковой группировки методом молекулярного общего предка также указывает на значительное сокращение численности во время последнего «бутылочного горлышка», более существенное, чем в популяции орла-могильника. При этом оценка уровня инбридинга в популяции степного орла в пределах большей части ареала вида показывает значение, превышающее таковое для локальной популяции орла-могильника.

Таким образом, в результате анализа не было выявлено сиюминутных генетических угроз сохранению степного орла, а также показаны следы неоднократного прохождения видом «бутылочных горлышек» в процессе эволюции. Несмотря на это, современная генетическая структура вида имеет нарушения, связанные с наблюдающимся падением численности, и требует регулярного мониторинга вместе с численностью вида. Уникальные особенности популяционно-генетической структуры степного орла среди других видов рода *Aquila* и их учёт при организации охраны и восстановления вида являются предметом будущих исследований.

Lyudmila Zinevich and Genriyetta Pulikova collect feather pulp from Steppe Eagle (Aquila nipalensis) nestlings for molecular genetic studies. Photo by I. Karyakin.

Людмила Зиневиц и Генриетта Пуликова собирают пульпу пера у птенцов степного орла (*Aquila nipalensis*) для молекулярно-генетических исследований. Фото И. Карякина.

Людмила Зиневиц пен Генриетта Пуликова молекулярлық-генетикалық зерттеулер үшін дала қырандарынын (*Aquila nipalensis*) балапандарынан қауырсын ұлпасын жинауда. И. Карякиннің фотосы.



ДАЛА ҚЫРАНДАРЫНЫҢ ПОПУЛЯЦИЯЛЫҚ-ГЕНЕТИКАЛЫҚ ҚҰРЫЛЫМЫ: ТҮРДІҢ САҚТАЛУЫНА ҮМІТ БАР МА?

Зиневич Л.С. (ФМБМ «БФЗИ Экология», Москва, Ресей)

Щепетов Д.М. (РФА Н. К. Кольцов атындағы даму биологиясы институты)

Тамбовцева В.Г. (РФА Н. К. Кольцов атындағы даму биологиясы институты)

Николенко Э.Г. («Сибэкоцентр» ЖШҚ, Новосибирск, Ресей)

Бекмансуров Р.Х. (ФМБМ «Нижний Кама» ҰК, Елабуга, Татарстан Республикасы, Ресей)

Пуликова Г.И. («Биоалуантүрлілікті зерттеу және сақтау орталығы» ҚҚ, Астана, Қазақстан)

Карякин И.В. («Сибэкоцентр» ЖШҚ, Новосибирск, Ресей)

Контакт:

Людмила Зиневич
lzinevich@gmail.com

Дмитрий Щепетов
denlior@gmail.com

Валентина Тамбовцева
lunx1994@gmail.com

Ринур Бекмансуров
rinur@yandex.ru

Генриетта Пуликова
genriyetta.pulikova@gmail.com

Эльвира Николенко
elviranikolenko@gmail.com

Игорь Карякин
ikar_research@mail.ru

Ұсынылатын дәйексөз: Зиневич Л.С., Щепетов Д.М., Тамбовцева В.Г., Николенко Э.Г., Бекмансуров Р.Х., Пуликова Г.И., Карякин И.В. Дала қырандарының популяциялық-генетикалық құрылымы: түрдің сақталуына үміт бар ма? – Қанатты жыртқыштар және оларды қорғау. 2023. Спецвып. 2. С. 342–346. DOI: 10.19074/1814-8654-2023-2-342-346 URL: <http://rrcn.ru/ru/archives/35132>

Дала қыраны (*Aquila nipalensis*) ғасырлар бойы Палеарктиканың нағыз қырандарының ең көп түрі болды, бірақ қазіргі уақытта оның саны тұрақты түрде азайып келеді және 2015 жылы IUCN қызыл қағаздағы түрдің мәртебесі "қауіп төнген" деген деңгейге жетті. Үя салуда және көші-қон кезінде электр беру желілерінде дала қырандарының жаппай қырылуы, қыстауларда ауыл шаруашылығы жануарларының өлекселерімен қоректену кезінде ветеринариялық препараттармен жаппай улану, дала өрттері және өя салуға жарамды мекендеу орындарының азаюы, сондай-ақ қорек базасының, бірінші кезекте, сарышұнақтың жалпы санының азаюының айқын себептері болып табылады. Алайда, сонымен бірге, биологиялық сипаттамаларына ұқсас дала қыранымен тығыз байланысты және көптеген аудандарда онымен симпатикалық түрде өмір сүретін қарақұстың (*Aquila heliaca*) көбінесе оның санын көбейтеді және жойылып бара жатқан дала қыранының экологиялық орнын белсенді түрде алады. XX ғасырдың 60-жылдарында Палеарктика аумағында жыртқыш құстардың көптеген түрлерінің саны айтарлықтай азайды дихлордифенил трихлорметилметан (ДДТ) дағдарысы-пестицидтермен улану. Еуропа елдерінде жыртқыш құстардың көптеген түрлерінің санын қалпына келтіруге және популяциялардың генетикалық әртүрлілігін сақтауға бағытталған арнайы шараларды жүргізуге тура келді. Негізгі өя салатын жері Қазақстан Республикасы, Ресей, Монғо-

лия және Қытай шегінде жатқан дала қыранына келетін болсақ, ДДТ дағдарысының салдары, сондай-ақ түрлер санының азаюындағы электр желілерінің рөлі оларға іс жүзінде зерттелмеген күйінде қалды.

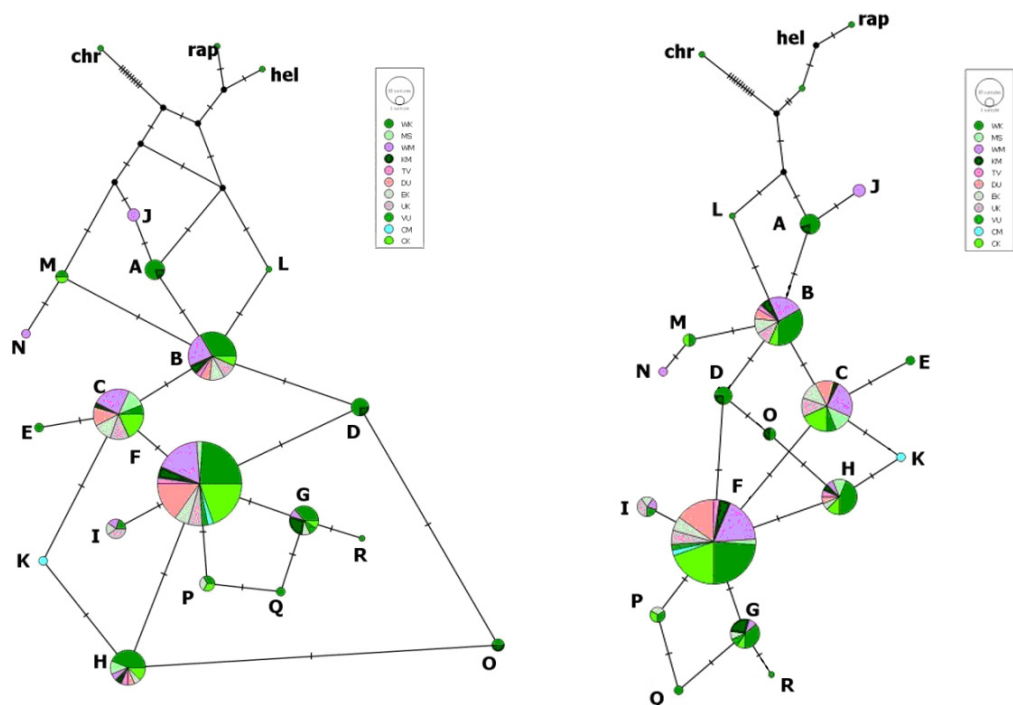
Сонымен қатар, түрлер санының азаюының себептерінің бірі популяцияның генетикалық тұрақтылығының бұзылуы болуы мүмкін. Генетикалық қауіптер, мысалы, таралу аймағының фрагментациясы, популяциялардың генетикалық эрозиясы, инбредтік депрессия және т.б. ұзағырақ болып саналады және зерттеушілердің назарын адам эрекетімен байланысты қауіптермен салыстырғанда аз тартады, дегенмен, басқа қауіптерді жоюға қабылданған шараларға қарамастан, түрдің жойылуына әкелуі мүмкін. Дала қыранының популяциялық-генетикалық құрылымы өте аз зерттелген. 2018 жылы дала қыранының сақтау жөніндегі жұмыс тобының I Халықаралық кеңесі аясында бұл мәселе көтерілді және тез арада шешуге ұсынылды. Бұл жұмыс осы ұсынысты орындау аясында жүргізілді. Зерттеудің міндеті түрдің көп бөлігіндегі дала қыранының (250-ден астам үлгі) және Ресей мен Қазақстан Республикасының жекелеген аумақтарындағы қарақұстың (100-ден астам үлгі) генетикалық құрылымын, бөлінуін және популяциясының тиімді санын салыстырмалы талдау болды. Зерттеу үшін классикалық генетикалық маркерлер-митохондриялық геномның бақылау аймағы (D-цикл) және тоғыз ядролық

микросателлиттік локус қолданылды. Сондай-ақ, жеке дарақтарды жеке сәйкестендіру және саны бойынша ең өкілді Батыс Қазақстан дала қыран тобындағы туыстық байланыстарды анықтау жүргізілді. Зерттелген барлық үлгілер ГАЗ әдістері арқылы генетикалық және географиялық бөліну түрғысынан талданды.

Нәтижесінде Дала қыранының популяциялық-генетикалық құрылымында қарақұсқа ұқсас екендігі, ол "бөтелке мойынының" бірнеше рет өтуінің іздерін, яғни саны мен генетикалық эртурлілігінің айтарлықтай төмендеу кезеңдерін атқарады. Бұл ретте зерттелетін аумақтарда дала қыранда бұрын қарақұс үшін сипатталған туа біткен филопатрияның бір тобында дала қыраны арасындағы туыстықты айқындау нәтижелері бойынша болуы ықтимал болғанына қарамастан, генетикалық окшауланған топтамалар анықталған жоқ. Байланысты тепе-теңдік әдісін қолдана отырып, популяцияның тиімді санын бағалаудың алдын ала нәтижелері дала қырандарының тиімді популя-

ция саны айтарлықтай жоғары болып қала беретінін, популяция санының азаюына қарамастан, молекулярлық ортақ арғы ата әдісін қолдана отырып, тектік топтың тиімді мөлшерін бағалау, сонымен қатар қарақұс популяциясына қарағанда, сонғы «бөтелке мойын» кезінде санының айтарлықтай төмендеуін көрсетеді.

Осылайша, талдау нәтижесінде дала қыранының сақталуына бірден-бір генетикалық қауіп-қатер анықталмады, сонымен қатар эволюция процесінде "бөтелке мойынының" бірнеше рет өтуінің іздері көрсетілді. Осыған қарамастан, түрдің қазіргі генетикалық құрылымында санының байқалған төмендеуімен байланысты бұзылулар бар және түрлердің санымен бірге тұрақты бақылауды талап етеді. *Aquila* тұқымдасының басқа түрлерінің арасында дала қыранының популяциялық-генетикалық құрылымының бірегей ерекшеліктері және олардың түрді қорғау мен қалпына келтіруді ұйымдастырудағы есебі болашақ зерттеулердің тақырыбы болып табылады.



The Steppe Eagle D-loop polymorphic region haplotypes networks. Methods: A – TCS (Clement et al., 2002); B – Median Joining $\epsilon=0$ (Bandelt et al., 1999).

Сети гаплотипов полиморфных регионов D-петли степного орла. Методы: А – ТКС (Clement et al., 2002); Б – Медианное соединение $\epsilon=0$ (Бандельт и др., 1999).

Дала қыранының D-ілемкті полиморфты аймақтардың гаплотиптік желілері. Әдістер: А – ТКС (Clement et al., 2002); Б – Эпсилонның медианалық түйісуі=0 (Бандельт және т.б. 1999).